

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11017218 A**(43) Date of publication of application: **22.01.99**

(51) Int. Cl.

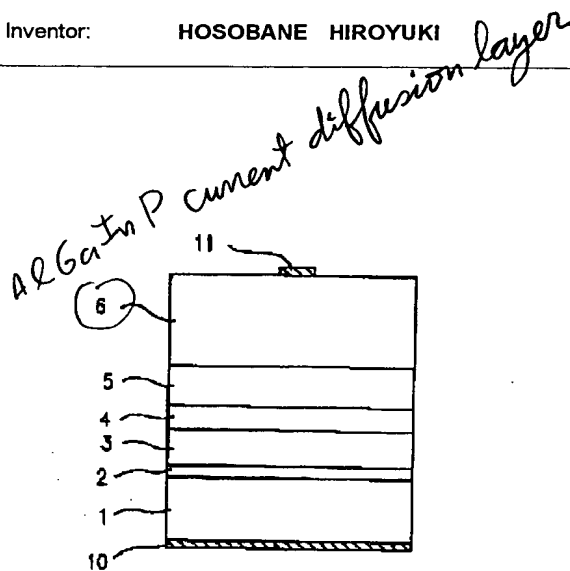
H01L 33/00(21) Application number: **09169273**(71) Applicant: **SHARP CORP**(22) Date of filing: **25.06.97**(72) Inventor: **HOSOBANE HIROYUKI**(54) **SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve emission efficiency and reliability by providing a current diffusion layer satisfying a specific chemical formula in an AlGaInP based semiconductor light-emitting device in which a light emission with an active layer, and a current diffusion layer is formed on a substrate.

SOLUTION: A buffer layer, AlGaInP based three layers, namely a cladding layer 3, an active layer 4 and a cladding layer 5, and a window layer 6 of a current diffusion layer are ascendingly formed on a n-GaAs substrate 1. Material satisfying chemical formula $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$, ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) is used in the window layer 6. Next, an electrode 10 for n-type is formed on the whole rear surface of the n-GaAs substrate 1 and an electrode 11 for p-type is formed on central portion of the front surface. Good laminar growth is obtained in the layer satisfying the formula by diffusing In atoms compared with a GaP layer. Occurrence of crystal defect due to desorption of P atoms by Al atoms is also reduced. Thereby, emission efficiency and reliability are enhanced by improving flatness as well as crystallinity.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-17218

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

B

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-169273

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月25日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 細羽 弘之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

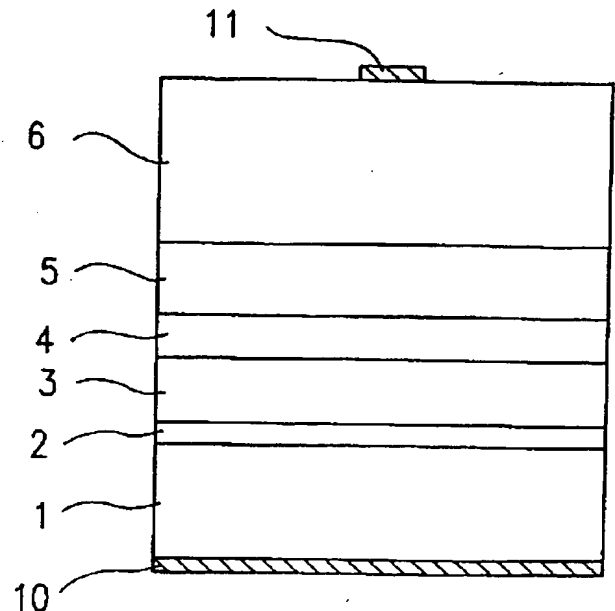
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 窓層の平坦性を向上でき、結果的に発光効率及び信頼性を大幅に向上できる半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 n -GaAs基板21上に、 n -GaAsバッファ層22 (例えば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層23 (例えば、 $x=0.7$, $y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 活性層24 (例えば、 $x=0.05$, $y=0.5$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層25 (例えば、 $x=0.7$, $y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) 窓層26 (例えば、 $x=0.5$, $y=0.5$) を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に活性層を含む発光部と電流拡散層が形成された AlGaInP 系の半導体発光素子において、

前記電流拡散層が $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) である半導体発光素子。

【請求項 2】 電流阻止層と、前記基板の裏面に形成された第 1 の電極と、前記電流拡散層の上に形成された第 2 の電極とを更に備え、該第 2 の電極が該電流拡散層の中央部における上面に形成され、該第 2 の電極と対向する位置に該電流阻止層が形成されている請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 電流阻止層と、前記基板の裏面に形成された第 1 の電極と、前記電流拡散層の上に形成された第 2 の電極とを更に備え、該第 2 の電極が該電流拡散層の周辺部における上面に形成され、該第 2 の電極と対向する位置に該電流阻止層が形成されている請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 前記基板として、その面方位が (100) 面から [011] 方向に傾斜しているものを用いる請求項 1～請求項 3 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記電流拡散層のエネルギーギャップが前記活性層のエネルギーギャップよりも大きくなっている請求項 1～請求項 4 のいずれかに記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、AlGaInP 系の半導体発光素子に関し、特に発光効率及び信頼性を向上できる AlGaInP 系の半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 AlGaInP 系の半導体材料を用いた半導体発光素子は、GaAs 基板と格子整合が可能であることと、III-V 族化合物半導体の中で最も直接遷移バンドギャップが大きいことから、可視領域の発光素子として広く用いられている。特に、発光ダイオードとして 550nm から 690nm の範囲で直接遷移型の発光を行うため、高い発光効率を得ることができる。

【0003】 従来の面発光型 AlGaInP 系半導体発光素子の一例として、Robert M. Fletcher らにより United States Patent 5,008,718 で提案された発光ダイオードがある。図 10 はこの発光ダイオードを示し、そこでは、電流を広い発光部へ広げるために、GaP による窓層（電流拡散層）を設ける構成を採用している。

【0004】 以下に、図 10 に基づきその構成を今少し具体的に説明する。この発光ダイオードは、n-GaAs 基板 71 上に、n-AlGaInP クラッド層 73、GaInP 活性層 74、p-AlGaInP クラッド層

75 及び p-GaP 窓層 76 をこの順に積層形成し、且つ電極 710 及び 711 を取り付け付けた構成になっている。なお、n-AlGaInP クラッド層 73、GaInP 活性層 74 及び p-AlGaInP クラッド層 75 で発光部が構成される。

【0005】 この構成によれば、GaP 窓層 76 で電流が広がり、広い範囲の活性層 74 で発光するため、発光効率が向上する。また、発光した光はチップ上面から取り出されるが、GaP 窓層 76 は GaInP 活性層 74 よりもバンドギャップが大きいので、発光した光は GaP 窓層 76 で吸収されることなく透過し、高い発光効率を得ることができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記の発光ダイオードにおいては、電流拡散層として GaP 窓層 76 を用いているため、以下に示す問題点がある。

【0007】 (1) 結晶面の平坦性が著しく低下するため、発光ダイオード（半導体発光素子）の発光効率及び信頼性が低い。

【0008】 即ち、GaP 窓層 76 は結晶中で、Ga 原子と P 原子の結合エネルギーが大きいので、Ga 原子が成長面上を拡散（マイグレーション）しにくい。この結果、良好な層状成長ではなく島状成長となり、結晶面の平坦性が著しく低下する。このため、GaP 電流拡散層の上に電極を設ける場合は、密着性が低下し、電極の剥がれにより抵抗率が大きくなったりして、半導体発光素子の発光効率及び信頼性が低下する要因となっていた。

【0009】 (2) 電流拡散層 76 と発光部との材料が大きく異なるため、発光効率が低い。

【0010】 即ち、GaP 電流拡散層 76 は発光部である $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 層上に成長され、両者の材料は大きく異なる。このため、成長界面付近に結晶性の低い層が形成され、GaP 結晶中に結晶欠陥が発生しやすい。この結晶欠陥は発光部からの光を吸収するなど、半導体発光素子の発光効率の低下の要因となる。

【0011】 以上のように、従来の半導体発光素子は、GaP 層の材料に起因して、上記した 2 つの問題点があり、このことにより、発光効率及び信頼性が低いという欠点を有していた。

【0012】 本発明は、このような現状に鑑みてなされたものであり、窓層の平坦性を向上でき、結果的に発光効率及び信頼性を大幅に向上できる半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】 本発明の半導体発光素子は、基板上に活性層を含む発光部と電流拡散層が形成された AlGaInP 系の半導体発光素子において、前記電流拡散層が $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) であり、そのことにより上記目的が達

成される。

【0014】好ましくは、電流阻止層と、前記基板の裏面に形成された第1の電極と、前記電流拡散層の上に形成された第2の電極とを更に備え、該第2の電極が該電流拡散層の中央部における上面に形成され、該第2の電極と対向する位置に該電流阻止層が形成されている構成とする。

【0015】また、好ましくは、電流阻止層と、前記基板の裏面に形成された第1の電極と、前記電流拡散層の上に形成された第2の電極とを更に備え、該第2の電極が該電流拡散層の周辺部における上面に形成され、該第2の電極と対向する位置に該電流阻止層が形成されている構成とする。

【0016】また、好ましくは、前記基板として、その面方位が(100)面から[011]方向に傾斜しているものを用いる構成とする。

【0017】また、好ましくは、前記電流拡散層のエネルギーギャップが前記活性層のエネルギーギャップよりも大きくなる構成とする。

【0018】以下に本発明の作用を説明する。

【0019】上記のように、 $Al_xGa_{1-x}InP$ 系の半導体発光素子において、電流拡散層(窓層)の材料として、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ を用いると、後述の図2からわかるように、 In 組成 $y=0$ である GaP では結晶表面の凹凸の深さが40nmと非常に大きいのに対し、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $y=0.01$)層中に In 組成 y が0でなくわずかでも含まれていれば、結晶表面の凹凸の深さは GaP 層に比べて大幅に減少し、全ての領域で2nm前後まで減少している。

【0020】この理由としては、上述したように、 GaP 層は結晶中で、 Ga 原子と P 原子の結合エネルギーが大きいので、 Ga 原子が成長面上を拡散(マイグレーション)しにくく、良好な層状成長ではなく島状成長となっており、結晶欠陥が発生しやすいことが原因となっている。

【0021】これに対し、 In 原子は P 原子の結合エネルギーが小さいので、 In 原子が成長面上を拡散しやすく、良好な層状成長が得られる。このため、結晶表面の凹凸の深さが大幅に低減し、平坦性が向上するのである。

【0022】また、後述の図3からわかるように、 Al 組成 $x=0$ である GaP では、結晶欠陥の数が1000個近くと非常に大きいのに対し、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $y=0.01$)層中では Al 組成 x が0でなくわずかでも含まれていれば、結晶欠陥の数は GaP 層に比べて大幅に減少し、50個前後まで減少している。

【0023】この理由としては、 Al 原子は Ga 原子以上に P 原子の結合エネルギーが大きいので、成長面上を拡散しにくい、 P 原子の脱離による P 抜けに起因する

結晶欠陥の発生が大幅に低減されているためと考えられる。

【0024】以上のように、 GaP 層に比べて、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$)層は In 原子による拡散によって良好な層状成長が得られ、また、 Al 原子によって P 原子の脱離による P 抜けに起因する結晶欠陥の発生が大幅に低減される。このため、結晶欠陥の発生を大幅に低減できるので、結晶性が大幅に改善され、平坦性も大幅に改善されることになる。この結果、発光効率及び信頼性が大幅に改善された半導体発光素子を実現できる。

【0025】また、電流拡散層のバンドギャップを活性層よりも大きくする構成によれば、活性層で発光した光は窓層で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。よって、その分、光取り出し効率を向上できる。

【0026】加えて、第2の電極が電流拡散層の中央部における上面に形成され、第2の電極と対向する位置に電流阻止層を形成する構成によれば、電極から注入された電流は、この窓層で更に拡がるので、光取り出し効率を一層向上できる利点がある。

【0027】また、周辺部に電流阻止層を設ける構成によっても、電極から注入された電流は窓層で中央部に集中されるので、光取り出し効率を一層向上できる利点がある。

【0028】また、基板として、その面方位が(100)面から[011]方向に傾斜しているものを用いる構成によれば、窓層の抵抗値を低減できるので、半導体発光素子の駆動電圧を低減できる利点がある。

【0029】以下にその理由を後述の図7に基づき説明する。面方位が[011]方向に傾斜すると、同図に示すように、III族原子の1重結合を有する結晶表面である(111)面がステップごとに、即ち階段状に形成される。この面(傾斜面)はIII族原子の1重結合が表面を覆っているため、V族原子(この場合は、 P 原子)が供給され、III族原子と結合することになる。しかしながら、1重結合のためその結合力は弱く、すぐに結合が切れ、V族原子が表面上を拡散している状態になる。

【0030】ここで、 $p-(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ 窓層の抵抗率が高い理由の一つに、 O (酸素)の混入がある。即ち、酸素はVI族元素であるため、V族サイトの格子位置に入りやすいという性質を有する。

【0031】しかるに、上記のように基板が[011]方向に傾斜していると、V族原子が表面上を拡散しているため、結晶表面上にV族原子が多く存在する。このため、V族サイトの格子位置に酸素が入りにくくなる。よって、窓層の抵抗率を低減できるので、結局、半導体発光素子の駆動電圧を低減できるのである。

【0032】加えて、このような構成によれば、基板の面方位が(100)面から[011]方向に傾斜してい

ることにより、(111)面がステップごとに形成され、このステップごとに良好な層状成長がしやすい結晶表面となっているので、この点においても、結晶表面の凹凸の深さを大幅に低減でき、平坦性を大幅に向上できる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面に基づき具体的に説明する。

【0034】(実施形態1)図1～図3は本発明半導体発光素子の実施形態1を示す。本実施形態1は本発明を
10 発光ダイオードに適用した例を示す。以下に図1に基づき本実施形態1の発光ダイオードの構造を製造プロセスとともに説明する。

【0035】まず、 n -GaAs基板1上に、 n -GaAsバッファ層2(例えば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)クラッド層3(例えば、 $x=1.0$, $y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ 、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)活性層4(例えば、 $x=0.45$, $y=0.5$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)クラッド層5(例えば、 $x=1.0$, $y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$)窓層6(例えば、 $x=0.01$, $y=0.01$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。

【0036】次に、 n -GaAs基板1の裏面全面に n 型用の電極10を形成し、また、電流拡散層である窓層6の上面中央部に p 型用の電極11を形成する。以上の
30 工程を経て本実施形態1の発光ダイオードが作製される。

【0037】上記のように、本実施形態1の発光ダイオードは、窓層6の材料として、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ を用いており、以下に図2及び図3に基づきその効果について説明する。但し、図2は($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.01$, $0 \leq y \leq 1$)層中のIn組成
40 y に対する結晶表面の凹凸の深さの関係を示しており、図3は($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $y=0.01$)層中のAl組成 x に対する結晶欠陥の数(1 cm^2 当たり)の関係を示している。

【0038】図2からわかるように、In組成 $y=0$ であるGaPでは結晶表面の凹凸の深さが 40 nm と非常に大きいのにに対し、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $y=0.01$)層中にIn組成 y が0でなくわずかも含まれていれば、結晶表面の凹凸の深さはGaP層に比べて大幅に減少し、全ての領域で 2 nm 前後まで減少している。

【0039】この理由としては、上述したように、GaP層は結晶中で、Ga原子とP原子の結合エネルギーが
50

大きいため、Ga原子が成長面上を拡散(マイグレーション)しにくく、良好な層状成長ではなく島状成長となっており、結晶欠陥が発生しやすいことが原因となっている。

【0040】これに対し、本実施形態1では、In原子はP原子の結合エネルギーが小さいため、In原子が成長面上を拡散しやすく、良好な層状成長が得られる。このため、結晶表面の凹凸の深さが大幅に低減し、平坦性が向上しているのである。

【0041】また、図3からわかるように、Al組成 $x=0$ であるGaPでは、結晶欠陥の数(1 cm^2 当たり)が 1000 個近くと非常に大きいのにに対し、本実施形態1の($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $y=0.01$)層中ではAl組成 x が0でなくわずかも含まれていれば、結晶欠陥の数はGaP層に比べて大幅に減少し、 50 個前後まで減少している。

【0042】この理由としては、Al原子はGa原子以上にP原子の結合エネルギーが大きいため、成長面上を拡散しにくい、P原子の脱離によるP抜けに起因する結晶欠陥の発生が大幅に低減されているためと考えられる。

【0043】以上のように、GaP層に比べて、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$)層はIn原子による拡散によって良好な層状成長が得られ、また、Al原子によってP原子の脱離によるP抜けに起因する結晶欠陥の発生が大幅に低減される。このため、結晶欠陥の発生を大幅に低減できるので、結晶性が大幅に改善され、平坦性も大幅に改善されることになる。

【0044】加えて、本実施形態1では、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.45$, $y=0.5$)活性層4($E_g=2.1 \text{ eV}$)に対し、窓層6に p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.01$, $y=0.01$)を用いているため、窓層6($E_g=2.26 \text{ eV}$)の方がバンドギャップが大きい。この結果、活性層4で発光した光は窓層6で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。

【0045】このような本実施形態1の発光ダイオードによれば、特性では波長 560 nm の緑色発光ダイオードで、従来例よりも発光効率が 20% 、信頼性も 20 mA 駆動時で 60°C 条件下において光度が半分となるまでの時間が 1.5 倍に増加できることを確認できた。

【0046】なお、本実施形態1の発光ダイオードにおいて、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)の組成比 x , y は、その範囲内で適宜変更しても上記同様の効果を奏することを確認できた。

【0047】(実施形態2)図4は本発明半導体発光素子の実施形態2を示す。本実施形態2も本発明をAlGaInP系の発光ダイオードに適用した例を示す。本実施形態2の発光ダイオードは、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ 層のAl組成 x 、In組成 y が実施形態1の発光ダ
50

イオードと異なる他は同様の構造になっている。即ち、実施形態 1 では本発明を緑色発光ダイオードに適用しているが、本実施形態 2 では赤色発光ダイオードに適用している。以下に図 4 に基づき本実施形態 2 の発光ダイオードの構造を製造プロセスとともに説明する。

【0048】まず、 n -GaAs 基板 21 上に、 n -GaAs バッファ層 22 (例えば、Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層 23 (例えば、 $x=0.7$, $y=0.5$, Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 活性層 24 (例えば、 $x=0.05$, $y=0.5$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層 25 (例えば、 $x=0.7$, $y=0.5$, Zn 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) 窓層 26 (例えば、 $x=0.5$, $y=0.5$) を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。

【0049】次に、 n -GaAs 基板 21 の裏面全面に n 型用の電極 210 を形成し、また、電流拡散層である窓層 26 の上面中央部に p 型用の電極 211 を形成する。以上の工程を経て本実施形態 2 の発光ダイオードが作製される。

【0050】本実施形態 2 の発光ダイオードにおいても、上記図 2 より結晶表面の凹凸の深さを大幅に低減でき、図 3 より GaP 窓層に比べて実施形態 1 同様に結晶欠陥の発生を大幅に低減できることがわかる。よって、実施形態 1 同様に、結晶性が大幅に改善され、平坦性も大幅に改善されるので、実施形態 1 同様の効果を奏することができる。

【0051】また、本実施形態 2 では、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0$, $y=0.5$) 活性層 24 ($E_g=1.9 \text{ eV}$) に対し、窓層 26 に p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.5$, $y=0.5$) を用いているため、窓層 26 ($E_g=2.0 \text{ eV}$) の方がバンドギャップが大きいので、活性層 24 で発光した光は窓層 26 で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。

【0052】本実施形態 2 の発光ダイオードは、特性では波長 650 nm の赤色発光ダイオードで従来例よりも発光効率が 20% 、信頼性も 20 mA 駆動時で 60°C 条件下において光度が半分となるまでの時間が 1.5 倍に増加できることを確認できた。

【0053】(実施形態 3) 図 5 は本発明半導体発光素子の実施形態 3 を示す。本実施形態 3 も本発明を AlGaInP 系の発光ダイオードに適用した例を示す。本実施形態 3 の発光ダイオードは、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ 層の Al 組成 x 、 In 組成 y が実施形態 1、2 の発光ダイオードと異なる他は同様の構造になっている。即ち、本実施形態 2 では黄色発光ダイオードに適用した例

を示している。以下に図 5 に基づき本実施形態 3 の発光ダイオードの構造を製造プロセスとともに説明する。

【0054】まず、 n -GaAs 基板 31 上に、 n -GaAs バッファ層 32 (例えば、Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層 33 (例えば、 $x=1.0$, $y=0.5$, Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 活性層 34 (例えば、 $x=0.30$, $y=0.5$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層 35 (例えば、 $x=1.0$, $y=0.5$, Zn 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、 p -($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) 窓層 36 (例えば、 $x=0.1$, $y=0.1$) を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。

【0055】次に、 n -GaAs 基板 31 の裏面全面に n 型用の電極 310 を形成し、また、電流拡散層である窓層 36 の上面中央部に p 型用の電極 311 を形成する。以上の工程を経て本実施形態 3 の発光ダイオードが作製される。

【0056】本実施形態 3 の発光ダイオードにおいても、上記図 2 及び図 3 より、結晶表面の凹凸の深さを大幅に低減でき、結晶欠陥の発生を大幅に低減できることがわかる。よって、結晶性を大幅に改善でき、平坦性も大幅に改善できるので、上記実施形態同様の効果を奏することがわかる。

【0057】また、本実施形態 3 では、($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.30$, $y=0.5$) 活性層 34 ($E_g=2.05 \text{ eV}$) に対し、窓層 36 に ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.1$, $y=0.1$) を用いているため、窓層 36 ($E_g=2.25 \text{ eV}$) の方がバンドギャップが大きいので、活性層 34 で発光した光は窓層 36 で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。

【0058】本実施形態 3 の発光ダイオードは、特性では波長 590 nm の黄色発光ダイオードで従来例より発光効率が 20% 、信頼性も 20 mA 駆動時で 60°C 条件下において光度が半分となるまでの時間が 1.5 倍に増加できることを確認できた。

【0059】(実施形態 4) 図 6 及び図 7 は本発明半導体発光素子の実施形態 4 を示す。本実施形態 4 も本発明を AlGaInP 系の発光ダイオードに適用した例を示す。本実施形態 4 の発光ダイオードは、面方位が (100) 面から $[011]$ 方向に傾斜している基板を用いている点が上記各実施形態の発光ダイオードとは異なっている。以下に図 6 に基づき本実施形態 4 の発光ダイオードの構造を製造プロセスとともに説明する。

【0060】まず、面方位が (100) 面から $[011]$ 方向に 15 度傾斜している n -GaAs 基板 41 (図 7 参照) 上に、 n -GaAs バッファ層 42 (例え

ば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 $n-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層43 (例えば、 $x=1.0, y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ 、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層44 (例えば、 $x=0.20, y=0.5$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層45 (例えば、 $x=1.0, y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ 、 $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 窓層46 (例えば、 $x=0.80, y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。

【0061】次に、 $n-\text{GaAs}$ 基板41の裏面全面に n 型用の電極410を形成し、また、電流拡散層である窓層46の上面中央部に p 型用の電極411を形成する。以上の工程を経て本実施形態4の発光ダイオードが作製される。

【0062】本実施形態4では、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.20, y=0.50$) 活性層44 ($E_g=2.05 \text{ eV}$) に対し、窓層46に $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.80, y=0.50$) を用いているため、窓層46 ($E_g=2.25 \text{ eV}$) の方がバンドギャップが大きいので、活性層44で発光した光は窓層46で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。

【0063】また、本実施形態4では、実施形態1同様に窓層46に $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($x=0.80, y=0.50$) を用いているが、本実施形態4では、面方位が(100)面から[011]方向に傾斜している基板を用いているため、窓層46の抵抗値を低減できる。

【0064】以下にその理由を図7に基づき説明する。但し、図7はIII-V族の結晶表面を表現したモデル図であり、面方位が(100)面はV族原子の2重結合が表面上にある。

【0065】ところで、面方位が[011]方向に傾斜すると、同図に示すように、III族原子の1重結合を有する結晶表面である(111)面がステップごとに、即ち階段状に形成される。この面(傾斜面)はIII族原子の1重結合が表面を覆っているため、V族原子(この場合は、P原子)が供給され、III族原子と結合することになる。しかしながら、1重結合のためその結合力は弱く、すぐに結合が切れ、V族原子が表面上を拡散している状態になる。

【0066】ここで、 $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 窓層46の抵抗率が高い理由の一つに、O(酸素)の混入がある。即ち、酸素はVI族元素であるため、V族サイトの格子位置に入りやすいという性質を有する。

【0067】しかるに、本実施形態4では、上記のように基板が[011]方向に傾斜しており、V族原子が表面上を拡散しているため、結晶表面上にV族原子が多く存在する。このため、V族サイトの格子位置に酸素が入りにくくなる。よって、本実施形態4によれば、窓層46の抵抗率を低減できるので、結局、半導体発光素子、つまり発光ダイオードの駆動電圧を低減できるのである。

【0068】加えて、本実施形態4によれば、 $n-\text{GaAs}$ 基板46の面方位が(100)面から[011]方向に傾斜していることにより、(111)面がステップごとに形成され、このステップごとに良好な層状成長がしやすい結晶表面となっている。従って、この点においても、結晶表面の凹凸の深さを大幅に低減でき、平坦性を大幅に向上できる。

【0069】本実施形態4の発光ダイオードは、特性では波長6100nmの橙色発光ダイオードで従来例より発光効率が20%、信頼性も20mA駆動時で60℃条件下において光度が半分となるまでの時間が2.0倍に増加できることを確認できた。

【0070】なお、本実施形態4においても、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) の組成比 x, y を、適宜変更しても上記同様の効果を奏することを確認できた。

【0071】(実施形態5) 図8は本発明半導体発光素子の実施形態5を示す。本実施形態5も本発明を AlGaInP 系の発光ダイオードに適用した例を示す。本実施形態5の発光ダイオードは、例えば、実施形態1の発光ダイオードとは、クラッド層55と窓層56との間の中央部に電流阻止層58を設けた点が異なっている。以下に図8に基づき本実施形態5の発光ダイオードの構造を製造プロセスとともに説明する。

【0072】まず、 $n-\text{GaAs}$ 基板51上に、 $n-\text{GaAs}$ バッファ層52 (例えば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 $n-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層53 (例えば、 $x=1.0, y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ 、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 活性層54 (例えば、 $x=0.38, y=0.5$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) クラッド層55 (例えば、 $x=1.0, y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $1.0 \mu\text{m}$ 、 $n-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) 電流阻止層58 (例えば、 $x=0.20, y=0.20$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)を $0.5 \mu\text{m}$ 、 $p-(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{InP}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 窓層46 (例えば、 $x=0.20, y=0.20$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。

【0073】なお、図8に示すように、電流阻止層58

はクラッド層55と窓層56との間の中央部に形成されている。

【0074】次に、 n -GaAs基板51の裏面全面に n 型用の電極510を形成し、また、電流拡散層である窓層56の上面中央部に p 型用の電極511を形成する。以上の工程を経て本実施形態5の発光ダイオードが作製される。

【0075】本実施形態5の発光ダイオードは、上記のように電流阻止層58を設けているため、これにより、電極51から注入された電流は、例えば実施形態1の場合に比べて窓層56で更に拡がるので、光取り出し効率を一層向上できる利点がある。

【0076】また、本実施形態5では、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($x=0.38$, $y=0.50$) 活性層54 ($E_g=2.05$ eV) に対し、窓層56に p - $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($x=0.20$, $y=0.20$) を用いているため、窓層56 ($E_g=2.25$ eV) の方がバンドギャップが大きいので、活性層54で発光した光は窓層56で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。

【0077】本実施形態5の発光ダイオードは、特性では波長570 nmの黄緑色発光ダイオードで従来例より発光効率が30%、信頼性も20 mA駆動時で60℃条件下において光度が半分となるまでの時間が2.5倍に増加できることを確認できた。

【0078】(実施形態6) 図9は本発明半導体発光素子の実施形態6を示す。本実施形態6も本発明をAlGaInP系の発光ダイオードに適用した例を示す。本実施形態6の発光ダイオードは、例えば、実施形態5の発光ダイオードとは、クラッド層65と窓層66との間の周辺部に電流阻止層68を設けた点が異なっている。以下に図9に基づき本実施形態6の発光ダイオードの構造を製造プロセスとともに説明する。

【0079】まず、 n -GaAs基板61上に、 n -GaAsバッファ層62 (例えば、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n - $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層63 (例えば、 $x=1.0$, $y=0.5$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 活性層64 (例えば、 $x=0.15$, $y=0.5$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p - $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) クラッド層65 (例えば、 $x=1.0$, $y=0.5$, Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $1.0 \mu\text{m}$ 、 n - $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 電流阻止層68 (例えば、 $x=0.01$, $y=0.01$, Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p - $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) 窓層66 (例えば、 $x=0.20$, $y=0.20$, Zn濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) を $5 \mu\text{m}$ 順次積層成長する。

【0080】なお、図9に示すように、電流阻止層68はクラッド層65と窓層66との間の図上左右両側の周辺部に形成されている。

【0081】次に、 n -GaAs基板61の裏面全面に n 型用の電極610を形成し、また、電流拡散層である窓層66の上面の電流阻止層68と対応する周辺部に p 型用の電極611を形成する。以上の工程を経て本実施形態6の発光ダイオードが作製される。

【0082】本実施形態6では、上記のようにクラッド層65と窓層66との間の周辺部に電流阻止層68を設けているため、これにより、電極61から注入された電流は窓層66で中央部に集中されるので、例えば実施形態1に比べて光取り出し効率を一層向上できる利点がある。

【0083】また、本実施形態6では、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($x=0.15$, $y=0.50$) 活性層64 ($E_g=2.05$ eV) に対し、窓層66に p - $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($x=0.20$, $y=0.20$) を用いているため、窓層66 ($E_g=2.27$ eV) の方がバンドギャップが大きいので、活性層64で発光した光は窓層66で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。

【0084】本実施形態6の発光ダイオードは、特性では波長550 nmの緑色発光ダイオードで従来例より発光効率が35%、信頼性も20 mA駆動時で60℃条件下において光度が半分となるまでの時間が2.7倍に増加できることを確認できた。

【0085】(その他の実施形態) 面方位が(100)面から[011]方向に傾斜 (例えば、15度) している n -GaAs基板は、実施形態4以外の他の実施形態に係る半導体発光素子にも適用することが可能である。また、組成については、各実施形態で例示したものに限定されないことは勿論である。更に、構造についても、各実施形態で例示したものに限定されないことは勿論である。

【0086】

【発明の効果】以上の本発明半導体発光素子によれば、AlGaInP系の半導体発光素子において、電流拡散層(窓層)の材料として、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ を用いる構成をとるので、結晶表面の凹凸の深さを窓層としてGaP層を用いる場合に比べて大幅に減少できる。

【0087】また、窓層としてGaP層を用いる場合に比べて、結晶欠陥の数を大幅に減少できる。

【0088】このため、本発明によれば、結晶性が大幅に改善され、平坦性も大幅に改善されることになるので、発光効率及び信頼性が大幅に改善された半導体発光素子を実現できる。

【0089】また、特に請求項5記載の半導体発光素子によれば、電流拡散層のバンドギャップを活性層よりも

大きくする構成をとるので、活性層で発光した光は窓層で吸収されることなく、上面から取り出されることになる。よって、その分、光取り出し効率を向上できる。

【0090】また、特に請求項2記載の半導体発光素子によれば、第2の電極が電流拡散層の中央部における上面に形成され、第2の電極と対向する位置に電流阻止層を形成する構成をとるので、電極から注入された電流は、この窓層で更に拡がるので、光取り出し効率を一層向上できる利点がある。

【0091】また、特に請求項3記載の半導体発光素子によれば、周辺部に電流阻止層を設ける構成をとるので、この構成によっても、電極から注入された電流は窓層で中央部に集中されるので、光取り出し効率を一層向上できる利点がある。

【0092】また、特に請求項4記載の半導体発光素子によれば、面方位が(100)面から[011]方向に傾斜した基板を用いる構成をとるので、窓層の抵抗値を低減でき、半導体発光素子の駆動電圧を低減できる利点がある。

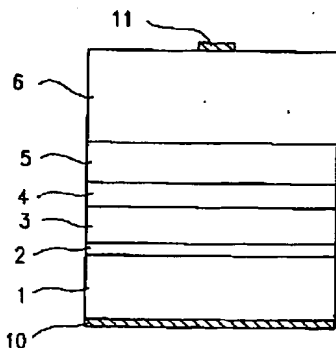
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1を示す、発光ダイオードの断面図。

【図2】本発明の実施形態1を示す、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($x=0.01, 0 \leq y \leq 1$) 層中のIn組成yに対する結晶表面の凹凸の深さの関係を示すグラフ。

【図3】本発明の実施形態1を示す、 $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ ($0 \leq x \leq 1, y=0.01$) 層中のAl組成xに対する結晶欠陥の数 ($1cm^2$ あたり) の関係を示すグラフ。

【図1】



【図4】本発明の実施形態2を示す、発光ダイオードの断面図。

【図5】本発明の実施形態3を示す、発光ダイオードの断面図。

【図6】本発明の実施形態4を示す、発光ダイオードの断面図。

【図7】本発明の実施形態4を示す、III-V族の結晶表面を表現したモデル図。

【図8】本発明の実施形態5を示す、発光ダイオードの断面図。

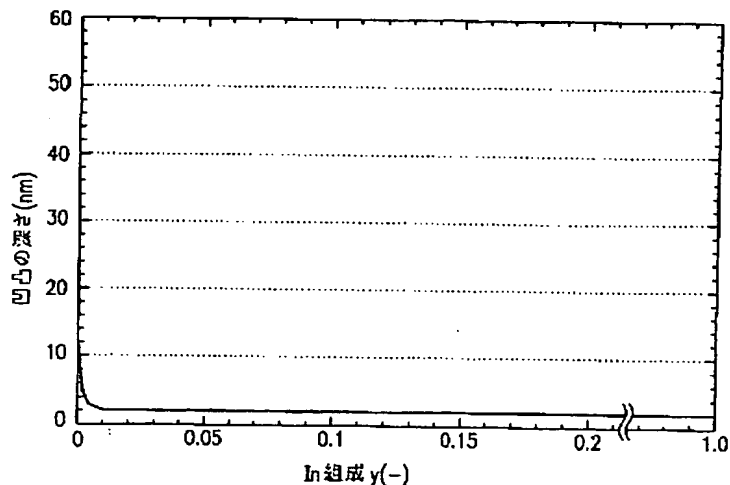
【図9】本発明の実施形態6を示す、発光ダイオードの断面図。

【図10】発光ダイオードの従来例を示す断面図。

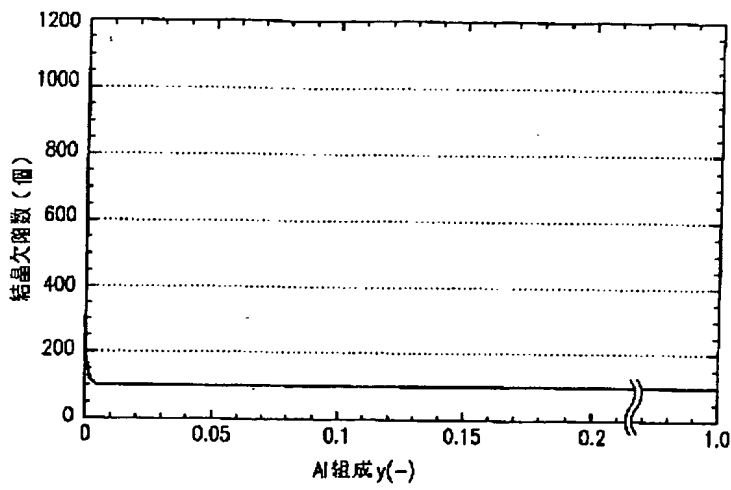
【符号の説明】

1, 21, 31, 41, 51, 61	n-GaAs 基板
2, 22, 32, 42, 52, 62	n-GaAs バッファ層
3, 23, 33, 43, 53, 63	n- $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ クラッド層
4, 24, 34, 44, 54, 64	$(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ 活性層
5, 25, 35, 45, 55, 65	p- $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ クラッド層
6, 26, 36, 46, 56, 66	p- $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}InP$ 窓層
10, 210, 310, 410, 510, 610	n型用の電極
11, 211, 311, 411, 511, 611	p型用の電極
30, 58, 68	電流阻止層

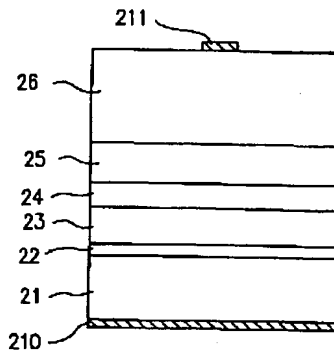
【図2】



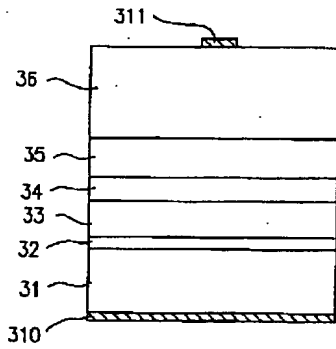
【図 3】



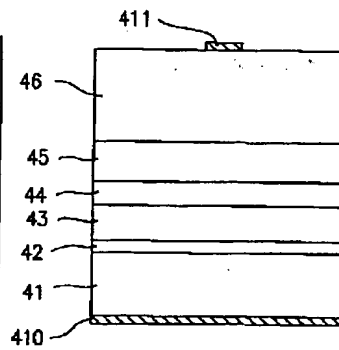
【図 4】



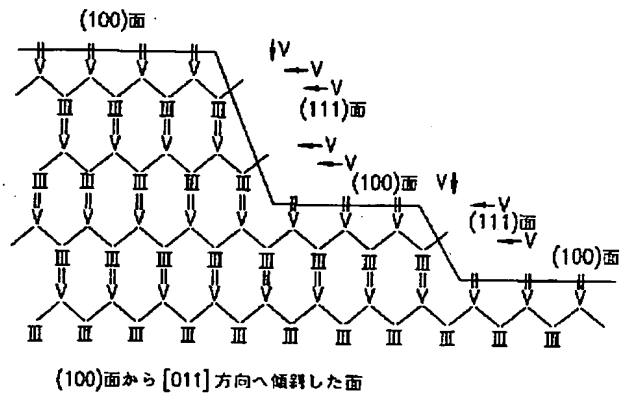
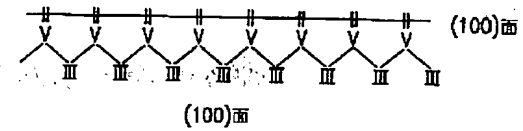
【図 5】



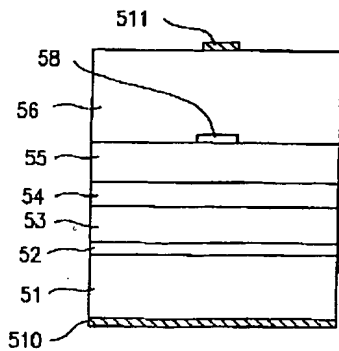
【図 6】



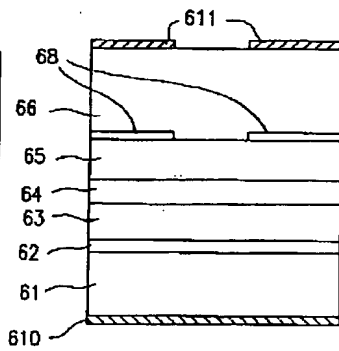
【図 7】



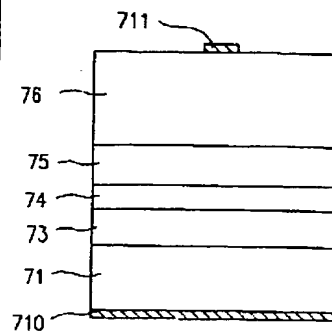
【図 8】



【図 9】



【図 10】



THIS PAGE BLANK (USPTO)